

초음파 무선 센서노드를 이용한 실시간 위치 추적 시스템

Real-time Location Tracking System Using Ultrasonic Wireless Sensor Nodes

박종현*, 추영열
(Jong-Hyun Park and Young-yeol Choo)

Abstract : Location information will become increasingly important for future Pervasive Computing applications. Location tracking system of a moving device can be classified into two types of architectures: an active mobile architecture and a passive mobile architecture. In the former, a mobile device actively transmits signals for estimating distances to listeners. In the latter, a mobile device listens signals from beacons passively. Although the passive architecture such as Cricket location system is inexpensive, easy to set up, and safe, it is less precise than the active one. In this paper, we present a passive location system using Cricket Mote sensors which use RF and ultrasonic signals to estimate distances. In order to improve accuracy of the passive system, the transmission speed of ultrasound was compensated according to air temperature at the moment. Upper and lower bounds of a distance estimation were set up through measuring minimum and maximum distances that ultrasonic signal can reach to. Distance estimations beyond the upper and the lower bounds were filtered off as errors in our scheme. With collecting distance estimation data at various locations and comparing each distance estimation with real distance respectively, we proposed an equation to compensate the deviation at each point. Equations for proposed algorithm were derived to calculate relative coordinates of a moving device. At indoor and outdoor tests, average location error and average location tracking period were 3.5 cm and 0.5 second, respectively, which outperformed Cricket location system of MIT.

Keywords : wireless sensor network, location tracking, pervasive computing, ultrasonic sensor

I 서론

WSN(Wireless Sensor Network)은 pervasive computing의 기반 기술로서 무선망을 이용하여 각종 센서들로부터 전달되는 정보를 취합하고 분석함으로써 다양한 서비스를 구현할 수 있는 새로운 개념의 정보 통신 기술이다. Pervasive computing이 목적하는바 지능적 환경(smart environment)을 구현하기 위해서는 온도, 습도, 조도, 압력, 가속도, 기울기, 카메라, IR(Infrared Ray), 가시광선, motion, 자기장 등의 다양한 기능의 센서들로부터의 상황인지 정보가 필요하다 [1,2]. 특히, 사물의 위치는 이를 위한 중요한 정보로 많은 서비스들이 창출되고 있다[3,4]. 위치 정보는 환경적 조건에 따라 실내와 실외에서 다른 기술이 적용되고 있다. 현재 실외에서는 GPS(Global Positioning System) 및 GIS(Geographic Information System)를 통하여 다양한 위치인식 서비스가 사용되고 있으며 실내에서는 초음파와 RF, 영상 처리를 이용한 위치추적이 연구되고 있다. 그러나 각 시스템은 기술적 특성으로 인해 서로 다른 적용환경과 한계점을 가지고 있다. 실외 위치추적의 대표적인 기술인 GPS 방식은 인공위성으로부터 신호를 수신하므로 실내에서는 사용할 수 없는 한계점이 있으며 정확도는 수 미터 정도이다.

실내 위치추적에는 초음파, 카메라, RF 신호 등 다양한 방식이 제안되어 있다[2-4]. 이 기술들은 다중 경로 문제, 인식 거리와 범위 등에서 많은 제약 사항이 있다. 실내에서 이동기기의 위치인식 시스템은 거리 측정을 위한 신호를 어디에서 발생하는가에 따라 능동형 이동기기 방식과 수동형 이동기기 방식으로 나눌 수 있다[2]. 능동형 방식은 위치 측정의 대상이 되는 물체에서 거리 측정을 위한 신호를 발신하는 구조로 되어 있다. 초음파를 이용한 AT&T의 Active Badge[6], Active Bat[7]와 전파 신호의 전달 지연 혹은 RSS(Receive Signal Strength)를 이용한 Microsoft사의 RADAR[8], UWB(Ultra Wide-band) 신호를 사용한 Multispectral Solutions Inc.[9]의 PAL(Precision Asset Location System)[10] 등이 능동형 방식에 속한다. 수동형 방식은 위치 측정 대상에 수신기가 위치하여 거리 신호를 받는 방식으로 초음파를 이용한 MIT의 Cricket Location System이 있다[11]. 대표적인 active mobile device 방식인 active bat은 bat이라 부르는 sender가 동기화 된 라디오 신호와 초음파 펄스를 발신하고 수신기에서는 이 두 신호간의 도착 시간차를 이용하여 각 수신기와 송신기 사이의 거리를 측정한다. 각 수신기는 이 거리 정보를 유선으로 연결된 host에게 보내고 host는 모아진 정보를 이용하여 위치를 계산한다. 이러한 방식의 능동형 시스템들은 추적 대상이 이동하는 환경에서도 한 시점에서 생성된 송신 신호를 여러 수신기가 수신하므로 그 시점의 위치를 정확히 계산할 수 있어 비교적 높은 정확성을 가질 수 있다. 하지만, 수신기 간의 동기화(synchronization)를 위해 별도의 유선망이 필요하고

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 9. 22., 채택확정 : 2007. 3. 21.

박종현, 추영열 : 동명대학교 컴퓨터공학과

(tuackr@tu.ac.kr/yychoo@tu.ac.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 육성지원 사업으로 수행되었음(IITA-2006-(C1090-0602-0013)).

그에 따라 고비용, 설치의 복잡성, host 기반의 중앙 집중식 처리 방식에 따른 프라이버시 등의 문제점을 가지고 있다. 이와 반대로 MIT의 Cricket과 같은 수동형 위치추적 시스템은 건물 내부에 고정으로 부착된 3개 이상의 비컨으로부터 전송받은 RF와 초음파 신호를 이용해 각 비컨과 수신기사이의 거리를 계산하는 방식으로 이동기기에서 직접 3차원의 위치 계산이 이루어질 수 있다. 이러한 형태를 가지는 시스템은 비컨 신호를 보내는 송신기 간에 별도의 동기화가 필요 없으므로 저비용, 설치의 단순성, 프라이버시 문제의 해결 등의 장점이 있다. 하지만, 수신기의 이동에 따라 고정되어있는 각 송신기와의 거리가 가까워지거나 멀어지게 되므로 초음파의 경우 이로 인해 도플러 효과에 의한 거리 오차가 발생한다. 또한, 비컨이 일정 주기로 RF와 초음파를 전송하기 때문에 위치정보의 갱신 속도가 늦어지는 단점이 있다. 한편, 능동형과 수동형을 혼합한 Hybrid Architecture[5]가 제안되기도 하였지만 EKF(Extended Kalman Filter)와 LSQ(Least Square Minimization) 알고리즘의 수행으로 인한 처리 시간의 지연이 수반되고 정확도에 있어서도 여전히 능동형에 비해 낮았다.

본 논문에서는 Cricket[12] 하드웨어를 사용하여 수동형 방식의 단점인 정확도와 위치갱신 속도를 높이기 위한 시스템을 설계하고 구현하였다. 이전의 논문과 비교 실험을 통해서 초음파 신호 자체가 가지는 부정확성을 극복하기 위한 방법과 응용가능성에 대해서 기술하였다.

II. 시스템의 구성

1. 시스템의 하드웨어 구성

거리측정을 위한 장치는 4개의 비컨과 1개의 Listener 그리고 Bluetooth 통신이 가능한 노트북과 PDA로 구성되어 있다. 고정된 4개의 비컨에서 RF와 초음파를 동시에 Listener로 보내게 되고 차량위에 장착된 Listener는 PDA나 노트북으로 그림 1과 같이 데이터를 전송하여 위치 좌표를 계산하게 된다.

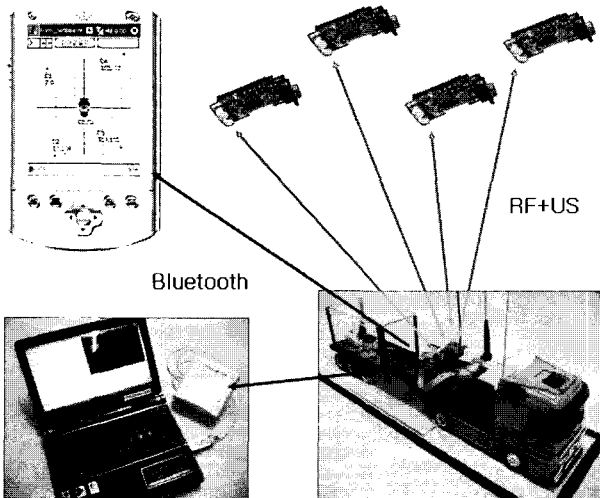


그림 1. 시스템 하드웨어 구성.
Fig. 1. System H/W configuration.

표 1. Bluetooth 통신 설정.

Table 1. Bluetooth configuration.

Data rate (bps)	115,200
Number of data bits	8
Parity	None
Stop bits	1
Flow control	Xon/Xoff

표 2. 위치추적 시스템 사양.

Table 2. Specification of location system.

h	Notebook	PDA
CPU	Inter 1.6 GHz	Inter 624 MHz
RAM	512 MB	256 MB
OS	Windows-xp sp2	Windows-Mobile 5.0
Application	Java (JDK1.5)	C# (Visual Studio.net 2.0)

초음파 센서는 433 MHz 대역의 RF 주파수를 사용하여 통신을 하며 초음파는 40 KHz를 중심으로 송수신을 수행한다. 비컨과 listener간의 데이터를 원격으로 전송하기 위해 Bluetooth 통신이 가능한 보조 기판을 설계해서 장착하였다. Listener 측의 Bluetooth 노드를 master로 설정하고 원격에서 데이터를 받는 PC와 PDA 장치를 Slave 노드로 설정하고 동시에 모니터링 하였으며 통신 설정은 표 1과 같다.

MIT의 Cricket Location System[11]은 Listener가 PC에 우선으로 연결된 상태에서 작동한다. 하지만 본 논문에서 구현한 시스템에서는 Bluetooth를 적용하여 거리상의 확장은 물론 시스템의 구현에 따른 적용성을 높였다.

표 2는 노트북과 PDA의 시스템 사양과 개발 환경으로 노트북은 운영체제에 비종속적인 Java를 사용하였으며 PDA는 Bluetooth기능이 내장된 제품을 사용하여 시스템을 개발하였다.

2. 소프트웨어 구조

Pervasive computing 구현을 위한 연구 분야 중 주위에 산재되어 있는 데이터를 어떻게 수집해서 효율적으로 처리할 것인가에 대한 연구가 많이 진행이 되고 있다. 이러한 연구 내용을 바탕으로 그림 2와 같은 system architecture layer를 구성하고 시스템을 개발하였다. 먼저 WSN 망을 구성하는 physical sensor 계층에서는 비컨과 listener간의 통신이 이루어지며 여기서 얻어진 각 비컨과 listener간의 거리 데이터 값은 상위 계층으로 전달된다. Sensor node에 사용된 소프트웨어는 TinyOS[13]기반의 NesC[14]로 작성되어 있다. NesC는 module, configuration, interface등을 포함하는 component들로 이루어지며 command와 hardware interrupt등에 의한 event로 실행되어지는 C에 기반한 언어이다.

Mobile host device는 그림 2와 같이 aggregator layer, mediation layer, application layer로 구현되었다.

Aggregator layer에서는 physical sensor로부터 넘겨받은 데이터를 수집하고 정렬한 뒤 상위 계층인 mediation layer로 넘긴다. Mediation layer는 정렬된 데이터를 정의된 필터 또

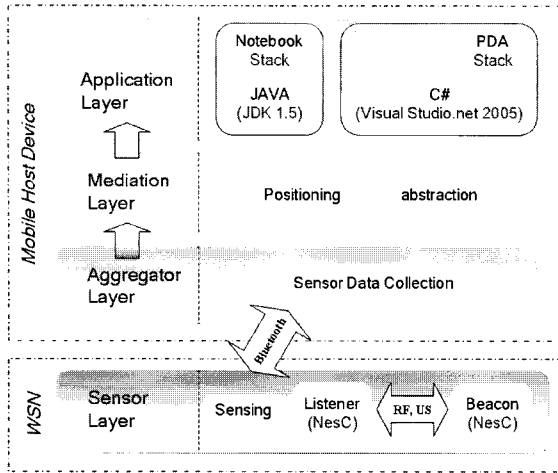


그림 2. 시스템 계층 구조도.
Fig. 2. System architecture layer.

는 관계 모델을 통해서 분리하거나 제거한 뒤 위치 값을 계산하게 된다. Mediation layer에서 계산된 위치 값은 application layer로 전달된 뒤 하드웨어 메모리의 버퍼에 저장된다. Application layer에서는 이렇게 저장된 위치 값을 화면에 display함으로써 사용자가 위치를 모니터링 할 수 있다. 위의 그림 2와 같은 계층적 모델에 따른 시스템의 구현은 base station을 사용하는 대부분의 무선 센서 네트워크 시스템에 적용이 가능하다.

3. 거리 측정 방법

거리 측정을 위한 신호를 송신하는 비컨 노드는 고정된 좌표값을 갖는다. Receiver의 역할을 수행하는 listener사이와의 거리측정 알고리즘은 그림 3과 같은 TDoA (Time Difference of Arrival)방식이다[15]. T_0 과 T_1 은 RF 신호의 출발시간과 도착사이며 빛의 속도이므로 비교적 짧은 거리를 계산하는 초음파 비행 거리 계산식에서는 대부분의 시스템에서 값을 무시한다. T_2 와 T_3 는 초음파 신호의 시작과 도착사이이다. 이에 따라 비컨과 listener사이의 거리값은 (1)로 주어진다.

$$((T_3 - T_1) - (T_2 - T_0)) * \left(\frac{V_{RF} * V_{US}}{V_{RF} - V_{US}} \right) \quad (1)$$

여기서 V_{RF} , V_{US} 는 각각 RF 신호와 초음파 신호의 단위시간당 속도이다.

초음파를 이용한 거리 측정은 공기를 매질로 주행하는 시간을 측정하므로 정확한 주행시간의 측정이 필요하나 주행시간은 음속에 의존하고 음속은 대기 환경 온도 변화에 큰 영향을 받는다. 따라서 비컨과 listener사이의 거리를 계산함에 있어 아래의 (2)에 따른 보정이 필요하다.

$$\text{speed_of_sound} = 331.4 + 0.60 * T \quad (2)$$

온도가 상승할수록 온도 값에 비례하여 음속이 빨라지게 되므로 실제 거리값에 대해 오차 요인으로 작용한다[16]. 표 3은 습도와 온도에 따른 초음파의 속도를 나타내고 있다[17].

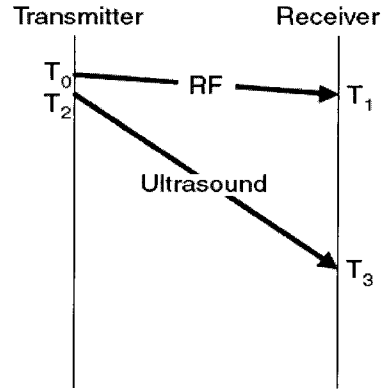


그림 3. TDoA 측정방법.
Fig. 3. TDoA scheme.

표 3. 습도와 온도에 따른 초음파의 속도.

Table3. Speed of sound at various air temperatures and humidity levels.

Temperature(°C)	Relative humidity(%)	Speed of sound(m/s)
10	0	337.5
10	50	337.8
10	100	338.1
15	0	340.4
15	50	340.9
15	100	341.34
19	0	342.8
19	50	343.4
19	100	344.0
20	0	343.4
20	50	344.0
20	100	344.6
25	0	346.3
25	50	347.1
25	100	348.0

표 3에 따르면 일정 온도 습도에 의한 초음파의 속도 변화는 작다. 예컨대, 25°C에서 습도 0%와 100%시 속도차이는 1.7m/s로 미미하다. 그러나 습도가 50%일 때 10°C~25°C에서의 속도 차는 9.3m/s로 상대적으로 큼을 보여준다. 실제 생활환경을 고려할 때 습도 값의 변화에 따른 초음파 전송 속도의 변화는 미미하여 구현된 시스템에서는 이에 대한 영향은 고려하지 않았다.

III. 3차원 위치측정 알고리즘

1. 좌표계산 알고리즘

TDoA 알고리즘을 이용해서 3차원 좌표를 구하기 위해서는 3개 이상의 비컨과 1개 이상의 listener가 필요하다. 본 논문에서는 그림 4와 같이 4개의 비컨(B_1, B_2, B_3, B_4)을 직교 좌표상에 육면체를 구성하는 방식으로 각 비컨을 설치하였다.

비컨으로부터 (RF, 초음파) 신호쌍을 listener가 수신하면 (1)에 따라 위치추적 대상까지의 측정 거리 $Dist_i(i=1,2,3,$

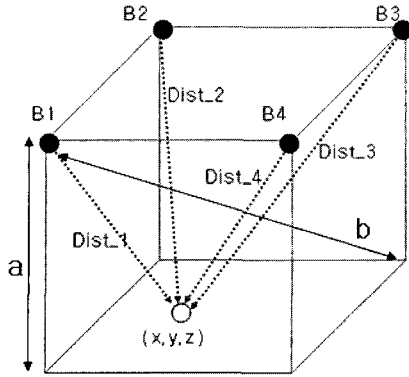


그림 4. 3차원 좌표계산.
Fig. 4. 3D Coordinate calculation.

and 4)를 구하여 버퍼에 저장한다. 서로 다른 3개의 값, 예컨대, Dist_1, Dist_2, Dist_3가 확보되면 (3), (4), (5)를 얻는다.

$$(x - x_{B1})^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2 = d_1^2 \quad (3)$$

$$(x - x_{B2})^2 + (y - y_{B2})^2 + (z - z_{B2})^2 = d_2^2 \quad (4)$$

$$(x - x_{B3})^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2 = d_3^2 \quad (5)$$

이 식에서 x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi} 는 비컨 B_i 의 (x, y, z) 좌표 값으로 설치시 측정되고, d_i 는 각 비컨으로부터 listener로 수신된 각 비컨까지의 거리 측정값 $Dist_i$ 이다. 4개의 비컨은 같은 높이의 평면상에 설치되므로 $z_{B1} = z_{B2} = z_{B3}$ 이고, 이를 이용, (3), (4), (5)를 풀어 정리하면 다음과 같다.

$$x = \frac{(y_{B1} - y_{B2})((d_3^2 - d_2^2) - (x_{B3}^2 - x_{B2}^2) - (y_{B3}^2 - y_{B2}^2)) + (y_{B2} - y_{B3})((d_1^2 - d_3^2) - (x_{B1}^2 - x_{B2}^2) - (y_{B1}^2 - y_{B2}^2))}{2[(x_{B2} - x_{B1})(y_{B2} - y_{B3}) + (x_{B2} - x_{B3})(y_{B1} - y_{B2})]} \quad (6)$$

$$y = \frac{(x_{B1} - x_{B2})((x_{B3}^2 - x_{B2}^2) + (y_{B3}^2 - y_{B2}^2) - (d_3^2 - d_2^2)) + (x_{B2} - x_{B3})((x_{B1}^2 - x_{B2}^2) + (y_{B1}^2 - y_{B2}^2) - (d_1^2 - d_3^2))}{2[(x_{B2} - x_{B1})(y_{B2} - y_{B3}) + (x_{B2} - x_{B3})(y_{B1} - y_{B2})]} \quad (7)$$

$$z = z_{B1} + \sqrt{d_1^2 - (x - x_{B1})^2 - (y - y_{B1})^2} \quad (8)$$

(6), (7)을 풀어 결과를 (8)에 대입, z 값을 구함으로써 추적 대상의 좌표를 구한다. B_i 가 포함된 경우도 동일한 방법으로 구할 수 있다.

그림 4에서 a 와 b 는 d_i 의 최소값과 최대값이 된다. 따라서 계산된 거리값 중 $a \leq d_i \leq b$ 범위 외의 값은 오류데이터로 처리한다. 이러한 필터링을 거쳐 3개의 거리값이 수신되면 버퍼에 저장하여 좌표 계산에 사용된다. 각각의 비컨들은 평균 0.25초를 주기로 전송하도록 구현되었다. 이 과정은 base station에서 이루어지며 흐름도는 그림 5에 나타내었다.

실내에서 초음파를 사용한 위치추적 시스템 중 비컨의 위치가 일정하지 않은 bristol indoor system[18]을 제외하고는 최소값과 최대값을 설정해서 사용하는 것이 시스템의 성능을 높일 수 있는 효과적인 방법이다. 이렇게 함으로써 초음파가 가지는 specular reflection을 줄일 수 있을 뿐만

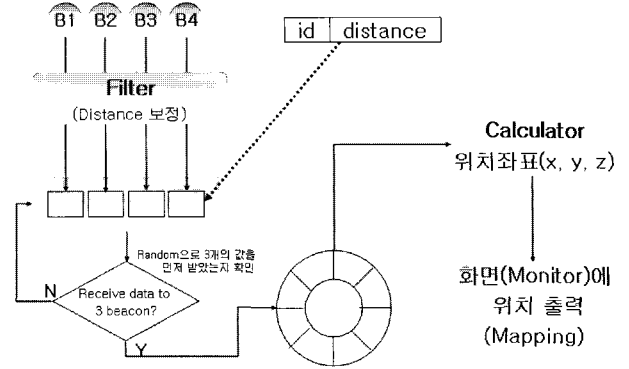


그림 5. 소프트웨어 흐름도.
Fig. 5. Software flow diagram.

아니라 직육면체의 블록 내에 존재하는 이동체의 값만을 측정함으로써 측정값의 신뢰도를 향상 시킬 수 있었다.

2. 초음파 신호의 간섭

2개 이상의 비컨을 사용할 경우 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다(그림 6 참조)[11]. 즉, 비컨 A와 비컨 B에서 발신된 RF와 초음파는 수신기에서 들어온 순서대로 받아서 계산 하게 된다. 이때 비컨 A에서 발신된 RF와 비컨 B에서 송신된 초음파가 같은 노드에서 송신된 (RF, 초음파) 신호의 쌍으로 인식되어 거리 측정의 오류를 초래할 수 있다.

이러한 문제점은 비컨 신호만으로는 송신 비컨의 id를 구분할 수 없는 초음파의 특성에 기인한다. 이 경우, 신호의 간섭을 회피하기 위해서 각각의 비컨들의 발신 주기를 늦추게 되면 위치추적 결과 데이터를 출력하는 시간 간격이 길어짐으로써 성능이 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 그림 7과 같이 RF의 전송시간을 늘리는

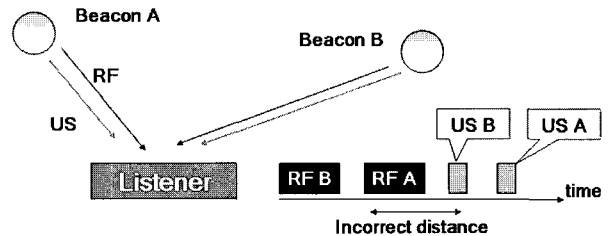


그림 6. 신호의 간섭 문제.
Fig. 6. Signal interference problem.

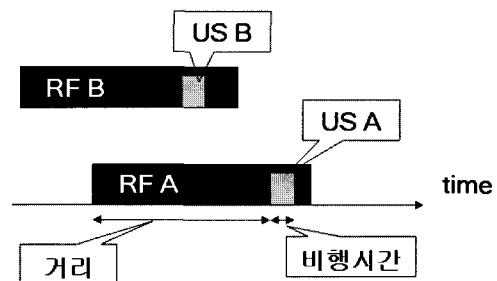


그림 7. 신호의 간섭 문제 해결.
Fig. 7. How to solve signal interference.

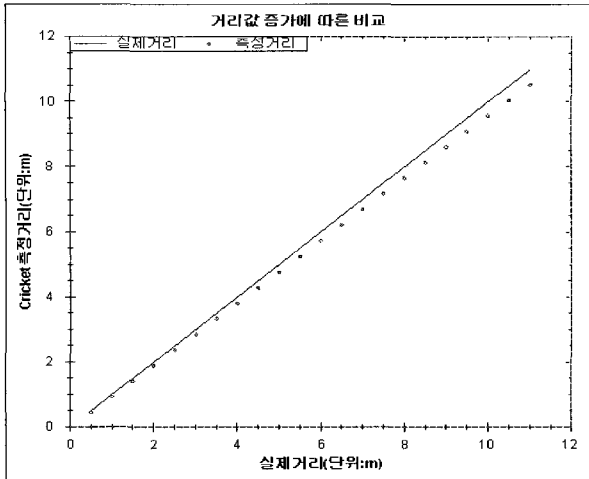


그림 8. 실측거리와 Cricket을 통한 측정거리 오차.
 Fig. 8. Distance error between real data and measured data by Cricket system.

방법을 이용해서 초음파가 항상 RF block 안에 들어가도록 하는 방법을 사용하였다. 수신기는 RF의 block을 벗어나는 초음파는 오류 검사 후에 버리게 된다.

3. 거리증가에 따른 오차 보정

초음파 센서 노드의 압전진동소자(초음파센서에서 초음파를 발생시키는 진동판)에서 거리가 멀수록 거리 측정의 오차는 증가하게 된다. 이러한 성질은 초음파를 이용한 위치 측정 시스템의 제약사항이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보간법을 이용해서 다음과 같이 오차를 보정하였다. 즉, 비컨과 listener의 거리를 고정시키고 줄자를 이용하여 실거리를 측정된 다음 각 Cricket 센서를 통해 측정된 거리 값과 비교하였다. 거리를 50cm씩 증가시키면서 11m까지 이러한 실험을 반복하여 이들 데이터를 비교한 결과 그림 8과 같이 측정거리가 증가함에 따라 비례하였다.

실측 거리와 Cricket을 통해 측정된 거리를 분석하여 (9)를 구하였다. 반복된 실험을 통해 (9)의 재현성을 확인하였다.

$$d = 1.1 * (\hat{d} - 5) \tag{9}$$

여기서 d 는 실제 거리, \hat{d} 는 Cricket을 통해 측정된 거리값이다.

IV. 위치측정 실험 및 분석

1. 실험

초음파센서는 일반적인 스피커와 거의 비슷한 성질을 가지고 있으며 장애물을 회피하지 않고 회절이나 반사를 통한 다중 경로 현상이 발생하게 된다. [19]에서 언급한 것처럼 실내에서 형광등(형광등의 안정기)이나 사람, 벽면의 영향도 받는 것을 확인하였다. 오히려 실외에서 테스트 할 때 보다 좁은 공간의 실내에서 오류가 더 많았다. 이러한 현상을 고려해서 그림 4와 같이 직육면체공간의 센싱 영역을 확보 할 수 있도록 [20]에서 초음파의 전송패턴을 참조하여 각도와 방향을 적절히 조절하는 방법을 취하였다. 초음파의

전송 패턴은 발신 각도가 80-90도이며 거리가 멀어질수록 각도가 줄어든다. 이러한 내용은 실험을 통해서도 확인할 수 있었다. 장비의 특성과 안정적인 거리값을 얻을 수 있는 범위를 고려해서 비컨의 각도와 높이를 조정하여 설치할 경우 위치정보를 얻을 수 있는 직육면체의 최대 크기는 $(x, y, z) = (430, 430, 630)$ 임을 확인할 수 있었다.

제안된 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 다음과 같은 조건하에서 MIT Cricket Location System과 실험, 비교하였다. 실험 환경은 무선 자동차위에 listener를 장착하고 가로, 세로, 높이가 각각 150cm인 공간에서 위치측정 오차를 측정하였으며 측정 단위는 10cm씩 이동하면서 3회 측정된 값의 평균을 구하였다. 알고리즘을 적용하지 않은 결과와 적용한 결과를 그림 9와 10에 나타내었다.

아래의 그림 9는 Kalman filter가 적용된 MIT Cricket Location System을 동일한 환경에서 실험하여 위치를 측정 한 결과이다. 그래프 내의 숫자는 위치 오차이며 단위는 cm

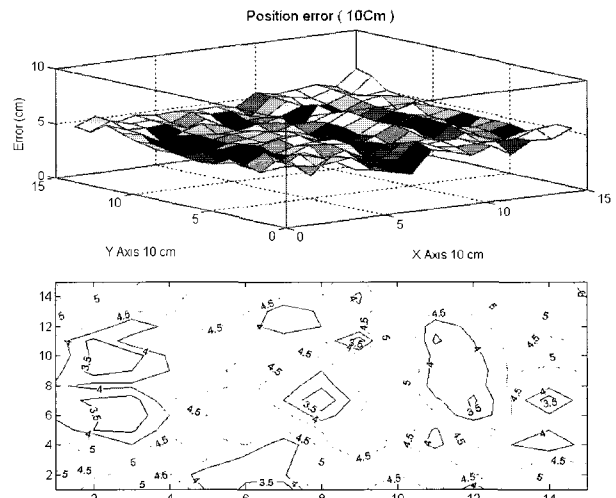


그림 9. MIT 시스템의 위치 인식 오차.
 Fig. 9. Location error of MIT location system.

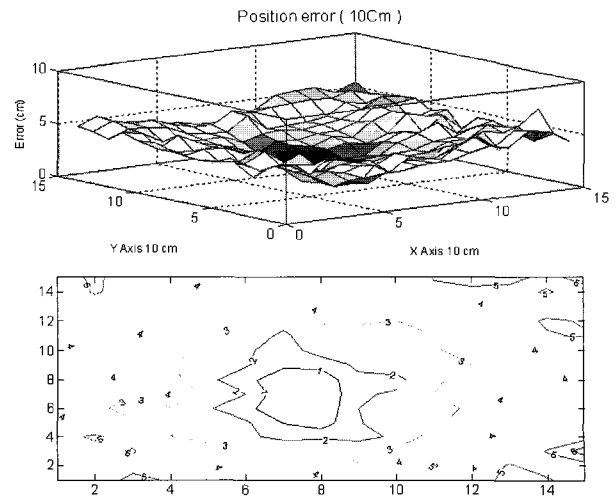


그림 10. 개발된 시스템의 위치 오차.
 Fig. 10. Location error of proposed system.

표 4. 위치오차 측정 비교.

Table 4. Comparison of location error.

		MIT(EKF)	제안된 시스템
위치오차 (cm)	Ave.	4.43	3.5
	Min	3	0
	Max	6.5	6.0
위치추적 주기 (ms)		1000~ 3000	250~750

이다. 전체적으로 위치오차가 3~6.5cm로 나타났으며 평균 4.4cm의 오차를 가지고 있었다. 위치추적에 대한 갱신 시간은 1000~3000ms 이상이 소요되었다.

그림 10은 본 논문의 앞부분에서 언급한 아래와 같은 내용을 적용시켜서 얻은 결과 값이다.

- 온도에 따른 초음파 속도 변화값 적용
- 초음파의 최소값과 최대값 적용
- 거리오차 보정
- 버퍼와 큐를 이용한 어플리케이션 구현
- 초음파의 특성을 고려한 비컨의 배치
- 각 비컨의 초음파 충돌 방지

측정된 오차값은 0~6cm의 오차를 보였으며 평균 오차는 3.5cm를 보였으며 위치 추적에 대한 갱신 시간은 250~750 ms로 능동형 위치추적 방식에 가까운 값을 얻을 수 있었다. 특히, center부분의 측정값은 0~1cm의 정확한 값을 얻었으며 각 비컨의 바로 아래의 모서리로 갈수록 오차값이 커지는 것을 확인하였다. 두 시스템의 위치 오차측정 결과를 표 4에 요약하였다.

2. 시스템의 확장

본 논문의 연구 내용과 같이 초음파를 사용한 위치인식 시스템의 경우 음파가 감쇠되는 특성 때문에 측정 거리가 10m 이내로 제한되는 단점이 있다. 이러한 단점은 x, y, z 축 방향으로 블록을 확장함으로써 해결될 수 있다. 즉, 아래의 그림 11처럼 비컨의 설치를 늘려 3차원 방향으로 2배씩 블록을 확장하면 (x, y, z) = (860, 860, 1260)의 크기로 측정 범위를 늘릴 수 있다. 고정으로 부착된 노드의 경우 각각의 비컨 신호가 도달하는 거리의 최소값과 최대값이

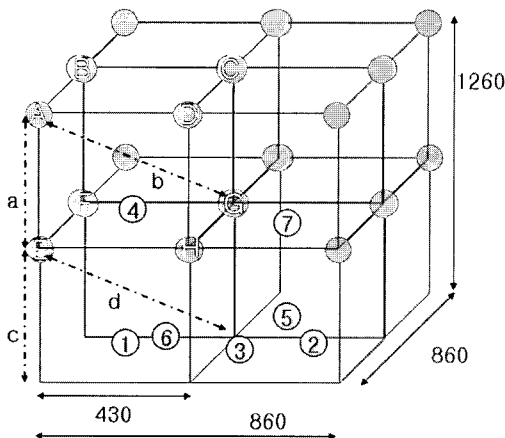


그림 11. 측정범위 확장 방법.

Fig. 11. Expansion of sensing area.

있으므로 그에 따라 인접한 비컨 노드를 배치할 경우 신호의 간섭을 피할 수 있다. 즉, ①의 이동기기의 경우 c, d값을 고려해서 비컨을 설치함으로써 비컨 E, F, G, H의 신호만이 영향을 미치게 된다. ④의 경우는 상위 블록의 A, B, C, D 비컨 신호만을 수신하게 된다. 이와 같은 블록 단위의 영역 확장을 통해서 초음파의 거리 제약을 극복 할 수 있다.

한편, Bluetooth 통신은 그림 11의 ①~⑦까지의 listener를 slave node로 설정하고 원격에서 데이터를 받아서 처리하는 PC를 master node로 두게 되면 한번에 7개의 이동체 추적이 가능하다. 이와 반대로 측정 범위 내 이동체가 하나이고 이 이동체의 위치를 추적할 mobile host device가 다수인 경우에도 적용이 가능하다. 즉, 이동체의 listener node를 master node로 설정하고 이 이동체의 위치를 추적할 mobile host device들을 slave node로 하여 pico-net을 구성하면 pico-net protocol에 따라 최대 7개의 mobile host device가 동시에 대상 이동체의 위치를 모니터링 할 수 있다. 분산제어 시스템으로 구축된 공장자동화의 경우 다수의 제어 시스템이 제어 대상을 감시할 필요성이 있으며 이때 이러한 망 구성은 대단히 유용하다.

V. 결론

본 연구는 수동형 위치추적 시스템의 단점인 위치 추적 주기와 정확도를 높이기 위해서 본질적으로 단순하고 명료한 몇 가지 내용을 토대로 시스템을 설계하였으며 실험적 평가와 결론을 통해서 새로운 아이디어의 접목을 유도하였다. 개발된 시스템은 Cricket mote를 사용하였으며 거리 측정 오차를 줄이기 위해 온도 센서 데이터를 병합, 초음파 전송 속도를 보정하였으며 에러 신호 제거 방법과 비컨 신호 오차 보정 알고리즘을 제안하였다. 개발된 알고리즘을 적용한 결과 MIT의 Cricket Location System 보다 평균 위치 오차는 20% 감소하였고 위치 추적 주기는 1/4로 감소하여 실시간 위치추적 기능이 대폭 향상되었다. 특히, 측정 범위의 중앙 부분에서는 거의 오차가 없는 정밀한 위치 측정 결과를 보였다. 또한 데이터 전송 시스템에 Bluetooth 통신 기술을 적용함으로써 pervasive computing의 서비스 계층에 새로운 서비스 모델을 제시하였다.

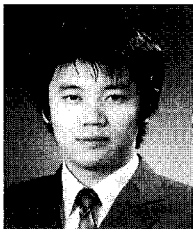
한편, 위치추적 갱신 시간과 정확도의 향상은 있었지만 빠른 갱신을 위해서 비컨의 전송 주기를 짧게 함으로써 에너지 효율적인 측면에서는 부족한 점이 있다. 향후에는 에너지 효율성을 고려한 위치추적 알고리즘의 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communication Magazine*, pp. 102-114, Aug. 2002.

[2] G. Chen and D. Kotz, "A survey of context-aware mobile computing research," *Technical Report TR2000-381*, Dept. of Computer Science, Dartmouth College, Nov. 2000.

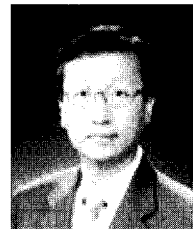
- [3] V. Zeimpekis, G. M. Giaglis, G. Lekakos, "A taxonomy of indoor and outdoor positioning techniques for mobile location services," *ACM SIGecom Exchanges*, vol. 3, no. 4, pp. 19-27, Winter, 2003.
- [4] E. O. Dijk, C. H. van Berkel, R. M. Aarts, and E. J. van Loenen, "A 3-D indoor positioning method using a single compact base station," *Proc. of the Second IEEE Annual Conf. on Pervasive Computing and Communications*, pp. 101-110, 2004.
- [5] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko, and N. Priyantha, "Tracking moving devices with the Cricket Location System," *Proc. of International Conference On Mobile System, Applications And Services*, vol. 13, no. 4, pp. 190-202, Jun. 2004.
- [6] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge location system," *ACM Transaction on Information System*, vol. 10, no. 1, pp. 91-102, Jan. 1992.
- [7] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster, "The anatomy of a context-aware applications," *Proceedings of 5th Annual ACM/IEEE International Conf. On Mobile Computing and Networking*, pp. 59-68, Aug. 1999.
- [8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," *INFOCOM*, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [9] Multispectral Solutions, Inc home page. <http://www.multispectral.com>
- [10] R. J. Fontana, E. Richley, and J. Barney, "Commercialization of an Ultra Wideband precision asset location system," *Proceedings of IEEE Conference on Ultra Wideband System and Technologies*, Nov. 2003.
- [11] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket location-support system," *ACM MOBICOM* pp. 32-43, Aug. 2000.
- [12] CrossBow Technology Inc. <http://www.xbow.com>
- [13] Tinyos home page. <http://www.tinyos.net>
- [14] D. Gay, P. Levis, D. Culler, and E. Brewer, "nesC 1.1 language reference manual" <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/>
- [15] M. Ilyas and I. Mahgoub, *Handbook of Sensor Networks : Compact Wireless and Wired Sensing System*, CRC PRESS LLC, New York, 2005.
- [16] 박민상, 이승유, "초음파 센서를 이용한 거리측정에서 온도보상에 관한 연구," 대한전자공학회 학술대회 논문집, 제 10 권, 제 1 호, 1. 1995.
- [17] O. Cramer, "The variation of specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO₂ concentration," *Journal of the Acoustical Society of America*, pp. 2510-2516, May 1993.
- [18] P. Duff and H. Muller, "Autocalibration algorithm for ultrasonic location system," *ISWC*, pp. 62-68, Oct. 2003.
- [19] Cricket V2, MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, User Manual, 2004.
- [20] H. Balakrishnan, T. Nakamura, and M. Matsuo, "Location handling system for mobile computing," *NTT Technical Review*, vol. 1, no. 6, Sep. 2003.



박종현

2005년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사). 2006년 10월~2007년 6월 (주)원신스카이텍 선임연구원. 2007년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2007년 7월~현재 부산대학교 기계공학과 박사과정. 현재 관심분야는 영

상처리, 센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 임베디드시스템, 자동제어.



추영열

1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1988년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(석사). 2002년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1988년 6월~1994년 6월 포항산업과학기술연구원 선임연구원. 1994년 7

월~2002년 8월 포스코 기술연구소 책임연구원. 2002년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수. 2005년 1월~7월 독일 Fraunhofer IESE Visiting Scientist. 2006년 10~현재 유비쿼터스 향만 ITRC 센터장. 관심분야는 USN, Ambient Intelligence, 컴퓨터통신, 공장자동화, 네트워크 보안.